

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ НИСХОДЯЩЕГО КАНАЛА СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ WiMAX В УСЛОВИЯХ ПЕРЕГРУЗОК

Гаркуша С.В.

Полтавский университет экономики и торговли, Украина
e-mail: sv.garkusha@mail.ru

Abstract – The results of development a mathematical model for capacity allocation downlink technology WiMAX. The novelty of the proposed model is possible preventive limit transmission rate allocated to the service flows of the user stations in the downlink by using the WiMAX technology linear or linear-quadratic objective function. It is shown that the use of a linear-quadratic objective function in comparison with the linear, can produce a more equitable management of requests based on the relative priorities. The analysis of known methods for dividing the time-frequency resource WiMAX technology showed that they all focus on the distribution between the subscriber stations all bandwidth downlink. The model proposed is directed to the allocation of each user station a guaranteed bit rate in the absence of overload downlink as well as the preventive rate limiting allocated user stations under overload conditions. Using the mathematical model is directed to distribution between subscriber stations of a time-frequency resource of the downlink, which in turn improves the conditions in the electromagnetic frequency range used. The influence of the priority request rate used in the model, the nature of the possible failures.

В настоящее время в современных беспроводных телекоммуникационных сетях (БТС), в частности и в сетях технологии WiMAX, численные значения отдельных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS), одним из которых является гарантируемая скорость передачи данных, во многом определяют эффективность решения задачи управления трафиком [1, 2]. При этом в условиях гетерогенности и мультипротокольности современных БТС, а особенно при перегрузке и ограниченности частотных и временных ресурсов, на первое место выходит проблема повышения уровня согласованности решений задач распределения пропускной способности нисходящего канала связи между пользовательскими станциями (Subscriber Station, SS) и ограничения интенсивности трафика, поступающего в сеть. При этом также необходимо учитывать возможность предоставления каждому сервисному потоку (Service Flow, SF) на подуровне MAC канального уровня сети требуемого QoS. Кроме того, учитывая мультисервисный характер современных БТС, отказы в обслуживании должны касаться в первую очередь низкоприоритетного трафика.

Как показал проведенный анализ, известные методы распределения пропускной способности нисходящего канала связи в технологии WiMAX используют принцип Best Effort. При этом качество предоставляемых услуг не гарантировано, а между SS распределяется вся доступная пропускная способность [2]. Однако в технологии WiMAX кроме Best Effort поддерживается несколько классов обслуживания (Class of Service, CoS) среди которых выделяют Not Real Time, Real Time, Extended Real Time, Unsolicited Grant Service, ориентированных на выделение гарантированной пропускной способности.

Таким образом, актуальной научной и практической задачей является разработка и исследование математических моделей и методов распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии WiMAX, гарантирующих выделение пользовательским станциям и их сервисным потокам требуемой пропускной способности, которые могли бы быть положены в основу перспективных технологических решений. В результате этого была разработана математическая модель распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии WiMAX.

В ходе решения задачи планирования пакетов данных для передачи сервисных потоков всех пользовательских станций в нисходящем канале связи в рамках предлагаемой модели необходимо обеспечить расчёт булевой управляющей переменной ($x_{k,m}^n$), определяющей порядок распределения слотов:

$$x_{k,m}^n = \begin{cases} 1, & \text{если } m\text{-й слот на } k\text{-м подканале выделен } n\text{-й SS;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Кроме того вводится также величина α^n , моделирующая долю отказов в выделении необходимой пропускной способности [3]. Тогда вектор искомых параметров с учетом (1) удобно представить в форме:

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} x_{k,m}^n \\ \alpha^n \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Координатами вектора \vec{X} является множество переменных $x_{k,m}^n$, где $n = \overline{1, N}$, $m = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, K}$, и ряда параметров α^n , где $n = \overline{1, N}$. При этом множество переменных $x_{k,m}^n$ будет определяться выражением $N \times M \times K$, где N – общее количество сервисных потоков, передаваемых всеми SS, M – количество слотов на одном подканале нисходящего канала для передачи полезной информации, K – количество подканалов в частотном канале, а количество параметров α^n будет равно N .

В соответствии с результатами расчёта переменных (2) производится закрепление подканалов и распределение слотов за сервисными потоками SS, на которых будут передаваться данные в нисходящем канале. Кроме того, при расчёте вектора искомых параметров \vec{X} необходимо выполнить ряд важных условий-ограничений:

1) Условие закрепления k -го подканала на протяжении передачи m -го слота не более чем за одним сервисным потоком

$$\sum_{n=1}^N x_{k,m}^n \leq 1 \quad (k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}). \quad (3)$$

2) Условие закрепления за n -м сервисным потоком количества слотов, обеспечивающего необходимую пропускную способность при схеме модуляции и кодирования (Modulation and Coding Scheme, MCS), используемой соответствующей SS

$$\frac{SR_c^n k_b^n K_s (1 - BLER)}{(T_b + T_g)L + T_{RTG} + T_{TRG}} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K x_{k,m}^n \geq R_{\text{трб}}^n (1 - \alpha^n) \quad (n = \overline{1, N}), \quad (4)$$

где R_c^n – скорость кода, используемого при кодировании сигнала n -го сетевого потока соответствующей SS; k_b^n – битовая загрузка символа n -го сервисного потока соответствующей SS; K_s – число поднесущих для передачи данных в одном подканале; $T_{RTG} = 105,7$ мкс – длительность интервала переключения с приема на передачу (receive/transmit transition gap, RTG); $T_{TRG} = 60$ мкс – длительность интервала переключения с передачи на прием (transmit/receive transition gap, TRG).

3) Условия формирования одного пакета для n -го сервисного потока соответствующей SS, что позволяет минимизировать количество слотов, выделенных для передачи служебной информации

$$x_{k,i}^n x_{k,z}^n (i - z + 1) - \sum_{u=z}^i x_{k,u}^n \leq 0, \text{ при } (z = \overline{1, M-1}; i = \overline{2, M}; n = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}; i > z); \quad (5)$$

$$x_{j,m}^n x_{r,m}^n (j - r + 1) - \sum_{s=r}^j x_{s,m}^n \leq 0, \text{ при } (r = \overline{1, K-1}; j = \overline{2, K}; n = \overline{1, N}; m = \overline{1, M}; j > r). \quad (6)$$

4) Условие формирования пакетов «прямоугольной формы», соответствующее технологическим особенностям семейства стандартов IEEE 802.16, использующих OFDMA

$$x_{k,m}^n \sum_{d=1}^M x_{k,d}^n \sum_{b=1}^K x_{b,m}^n = x_{k,m}^n \sum_{g=1}^K \sum_{h=1}^M x_{g,h}^n, \text{ при } (n = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}). \quad (7)$$

5) Условия резервирования необходимого количества слотов для передачи служебной информации

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N x_{k,m}^n = 0, \text{ при } (m = \overline{1, m_{\text{служ}} - 1}, \lceil Q/K \rceil \geq 1); \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{k, m_{\text{служ}}}^n = 0, \text{ при } (k = \overline{1, k_{\text{служ}}}, \lceil Q/K \rceil \geq 1); \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{k,1}^n = 0, \text{ при } (k = \overline{1, k_{\text{служ}}}, \lceil Q/K \rceil < 1), \quad (10)$$

где $m_{\text{служ}} = \lceil Q/K \rceil$ – количество слотов, выделенных для передачи служебной информации и занимающих всю ширину частотного канала (располагаются вначале кадра после преамбулы); $k_{\text{служ}} = Q - K(m_{\text{служ}} - 1)$ – количество слотов выделенных для передачи служебной информации, занимающих лишь часть ширины частотного канала.

В соответствии с физикой решаемой задачи (1)-(10) на координаты α^n вектора \vec{X} накладываются следующие ограничения [3]:

$$0 \leq \alpha^n \leq 1 \quad (11) \quad \text{или} \quad \alpha^n \in \{0, 1\}, \quad (12)$$

если на основе соглашения об уровне предоставляемых услуг (Service Level Agreement, SLA) допускается (11) или не допускается (12) частичное ограничение скорости передачи.

Расчет искомых переменных (2) в соответствии с условиями-ограничениями (3)-(12) целесообразно осуществлять в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум линейной (13) или линейно-квадратичной (14) целевых функций [3]:

$$\min_{\vec{X}} C^t \vec{X} = \min_{\vec{X}} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left(\sum_{n=1}^N c_{k,m}^n x_{k,m}^n + \sum_{n=1}^N c^n \alpha^n \right), \quad (13) \quad \min_{\vec{X}} \left[\frac{1}{2} \vec{X}^t H \vec{X} + C^t \vec{X} \right], \quad (14)$$

характеризующих относительные стоимости распределения пропускных способностей на этапе планирования пакетов данных. Координаты вектора \vec{C} и H матрицы можно представить следующим образом:

$$\vec{C} = \begin{bmatrix} c_{k,m}^n \\ c^n \end{bmatrix} \quad (k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}; n = \overline{1, N}), \quad (15) \quad H = \begin{bmatrix} \mu c_{11}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu c_{12}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu c_{k,m}^n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu c^n \end{bmatrix}. \quad (16)$$

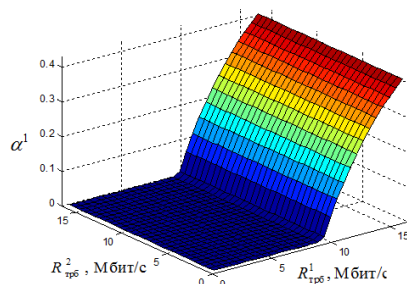
Координаты вектора \vec{C} определяют величину удельного штрафа за использование слотов нисходящего канала связи ($c_{k,m}^n$) и за ограничение в обслуживании трафиков пользователей (c^n), при условии, что $c_{k,m}^n \ll c^n$, μ – коэффициент, определяющий во сколько раз координаты диагональной матрицы H больше (меньше) координат вектора \vec{C} .

Также был проведен анализ процесса планирования пакетов данных нисходящего канала связи при совместном обслуживании двух сервисных потоков, направляемыми одной пользовательской станции, с различными приоритетами, задаваемыми путем изменения значения отношений $\Delta C = c_{k,m}^n / c^n$. В ходе исследования установлено, что характер возможных отказов при использовании предложенной модели зависит, во-первых, от количества пользовательских станций и используемой этими станциями MCS. Во-вторых, характер возможных отказов зависит от отношения стоимостей за загрузенность нисходящего канала связи ($c_{k,m}^n$) к стоимости за ограничение в обслуживании трафиков пользователей (c^n).

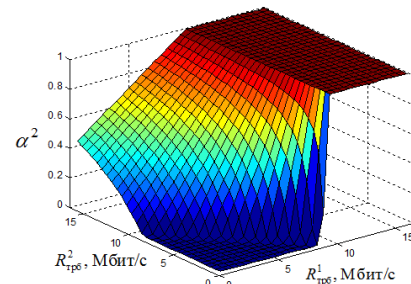
Так ниже на рис. 1 и рис. 2 представлены зависимости доли отказов в выделении необходимой пропускной способности высокоприоритетного (α^1) и низкоприоритетного

(α^2) сервисных потоков для линейной и линейно-квадратичной целевых функций соответственно. Результаты анализа показали, что в рамках предложенной модели реализуется обслуживание запросов от SS на основе так называемых абсолютных приоритетов. Так при использовании линейной целевой функции, в случае когда сумма запросов на требуемую скорость передачи превышает пропускную способность нисходящего канала связи превентивное ограничение испытывает в первую очередь запрос от низкоприоритетного сервисного потока вплоть до полного отказа в доступе (рис. 1 б). Запрос на скорость передачи от сервисного потока с более высоким приоритетом не будет ущемляться до тех пор, пока можно отказать низкоприоритетному запросу (рис. 1 а).

При использовании линейно-квадратичной целевой функции организуется более справедливое управление на основе относительных приоритетов, чем при использовании линейной целевой функции. Т.е. в случае возможной перегрузки отказы в обслуживании касаются всех сервисных потоков, при этом в меньшей степени высокоприоритетного (рис. 2 а), а в большей – низкоприоритетного (рис. 2 б). При этом в модели заложена возможность настройки как степени превентивности ограничения трафика, поступающего в сеть, как путем изменения весовых коэффициентов, так и степени процентного соотношения величины возможных отказов в обслуживании высокоприоритетного трафика относительно низкоприоритетного путем изменения значения множителя μ диагональной матрицы H .

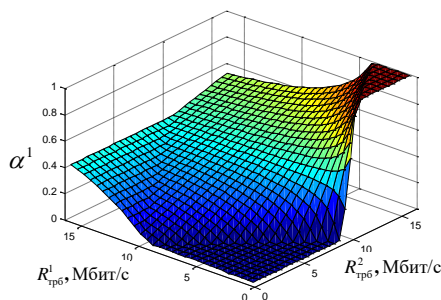


а) отказы высокоприоритетного запроса

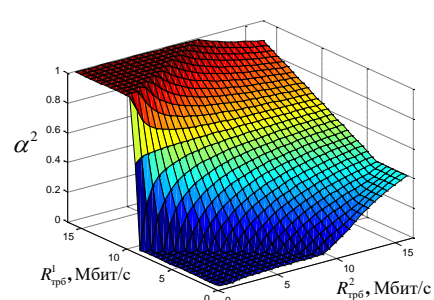


б) отказы низкоприоритетного запроса

Рис. 1. Зависимость доли отказов от их запросов на требуемую скорость передачи при линейной целевой функции



а) отказы высокоприоритетного запроса



б) отказы низкоприоритетного запроса

Рис. 2. Зависимость доли отказов от их запросов на требуемую скорость передачи при линейно-квадратичной целевой функции

Литература

1. Garkusha S., Ahmed H. *Abed Slot Allocation Model and Data Burst Scheduling in Downlink WiMAX Technology* // Proc. of "12th International Conference the Experience of Designing and Application of Cad Systems in Microelectronics" CADSM'2013. Polyana, 2013. – P. 97-100.
2. Гаркуша С.В. *Модель планирования пакетов данных в технологии WiMAX* // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2013. – С. 74-77.
3. Лемешко А.В. *Результаты исследования модели управления трафиком с учётом задаваемых приоритетов для многопродуктового и многополюсного случаев* // Проблемы телекоммуникаций. № 2 (2), 2010. – С. 33-41.